

**Abdukamilov Shavkat Shurakhovich** – Ph.D. (Eng.), Teaching Assistant, Tashkent Institute of Railway Engineering, Uzbekistan. Phone: + 998-94-653-54-35. E-mail: [abdukamilov@mail.ru](mailto:abdukamilov@mail.ru).

**Abstract.** In the article the questions of oscillations propagation in the body of subgrade from dune sands and beyond are considered, arising during the train movement. The regularities of changing the amplitude oscillations are given depending on train speed, depth, location and distance of the considered point from the axis of the path. The formula has proposed for the analytical calculation of the oscillations amplitude at any point of cross section on subgrade from dune sands.

**Keywords:** subgrade, vibrodynamic load, amplitude oscillations, oscillations damping, dune sands.

#### References

1. Prokudin I.V. Prochnost' i deformativnost' zheleznodorozhnogo zemlyanogo polotna iz glinistyh gruntov, vosprinimayushchih vibrodinamicheskikh nagruzku [Strength and deformability of the railway subgrade of clayey soils, perceiving vibrodynamic load]. Dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni dokt.tekhn.nauk. L.: LIIZHT, 1982. 455 p.
2. Abdukamilov Sh.Sh. Nesushchaya sposobnost' zemlyanogo polotna iz barhannyh peskov pri dejstvii vibrodinamicheskoy nagruzki [The bearing capacity of subgrade from sand dune under the action of dynamic vibration load] // Problemy mekhaniki [The Problems of Mechanics]. 2013, no. 2, pp. 57-61.
3. Abdukamilov Sh.Sh. Issledovanie kolebatelnogo processa barhannyh

peskov, ulozhennyh v zheleznodorozhnoe zemlyanoe polotno [The study of oscillatory process of dune sand, laid in a rail subgrade] // Izvestiya Transsiba [The News of Transsiba]. 2014, no. 2(18), pp. 75-86.

4. Ivanov P.L. Razzhizhenie i uplotnenie nesvyaznyh gruntov pri dinamicheskikh vozdeystviyakh [Liquefaction and compaction of non-cohesive soils under dynamic loads]. L.: Izdanie LPI, 1978, 50 p.
5. Prokudin I.V., Kozlov I.S. Vliyanie promezhutochnykh skreplenij na kolebaniya gruntov zemlyanogo polotna [The influence of intermediate fastenings to fluctuations in subgrade soil] // Put' i putevye hozyajstvo [The path and track facilities]. no.6, 2009, pp. 31-33.
6. Kornilov S.N., Babencev D.YU., Dovzhenok A.S. Problemy ehkspluatatsii zheleznodorozhnogo transporta ZAO «LuTEK» [The exploitation problem of railway transport JSC «LuTEK»]. Gornyj Inform.-Analit. Byul [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)]. 2003, no. 8, pp.136-139.
7. Kornilov S.N., Romanyuk A.I. Izmenenie konstrukcii zheleznodorozhnyh putej OAO «MMK» na osnovanii iz derevyannyh shpal s cel'yu uvelicheniya harakteristik prochnosti i prodleniya rokov ehkspluatatsii [The changes in the design of railway track of OJSC MMK on the basis of wooden sleepers for extra durability and extended life] / Aktual'nye problemy sovremennoj nauki, tekhniki i obrazovaniya [Actual Problems of Science, Technics and Education]. 2013, vol. 1. pp.65-68.

УДК 656.254

Рахмангулов А.Н., Мирсагдиев О.А.

## ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СВЯЗИ В ПАКЕТНОЙ СЕТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

**Аннотация.** В статье представлено сравнение двух методик оценки качества передачи речи на железнодорожном транспорте, основанных на использовании субъективной оценки MOS и расчёте объективного показателя «R-фактор». Данные показатели рассматриваются на примере пакетной сети связи, организуемой между диспетчером и дежурным по станции. Рассмотрены особенности проявления на железнодорожном транспорте всех составляющих показателя «R-фактор», а также определено влияние качества оперативно-технологической связи на перевозочный процесс.

Исследование выполнено при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (РФФИ), грант № 14-38-50750.

**Ключевые слова:** пакетная сеть, качество передачи речи, E-модель, R-фактор.

#### Введение

На сегодняшний день одной из наиболее важных задач на железнодорожном транспорте является задача совершенствования управления эксплуатационной работой на основе информатизации, а также модернизации систем телекоммуникаций и связи. На железнодорожном транспорте технологическая связь играет важную роль при организации перевозок и повышения надёжности перевозочного процесса.

Средства технологической связи предназначены для обеспечения эксплуатационной деятельности железнодорожного транспорта. Они обеспечивают:

- диспетчерское управление движением поездов, перевозочным процессом и содержанием инфраструктуры железнодорожного транспорта (пути, энергетики, подвижного состава, автоматики и связи и других хозяйств);
- функционирование информационных и информационно-управляющих систем, устройств железнодорожной автоматики и средств, обеспечивающих безопасность движения;
- взаимодействие участников выполнения технологических процессов на железнодорожном транспорте [1].

Основное оперативное руководство технологическим процессом на железнодорожном транспорте возложено на диспетчеров. Диспетчер является руководителем процесса организации перевозок и управляет работой участков и станции. В каждом диспетчерском круге осуществляется оперативное взаимодействие диспетчера с несколькими дежурными по станциям (исполнителями). Анализ объёма передаваемых речевых данных в сетях связи между диспетчерами и исполнителями (рис. 1, 2) показывает, что загрузка каналов связи зависит как от количества выполняемых операций перевозочного процесса, так и от времени суток. Наблюдаемая внутрисуточная неравномерность загруженности каналов связи и периодически возникающие перегрузки каналов в отдельных диспетчерских кругах потенциально могут приводить к ухудшению качества связи в пакетных сетях, что, в свою очередь, оказывает отрицательное влияние на эффективность перевозочного процесса в результате задержек в передаче управляющих команд. В этой связи оценка качества передачи речи между диспетчерами и исполнителями представляет собой актуальную научно-практическую задачу.

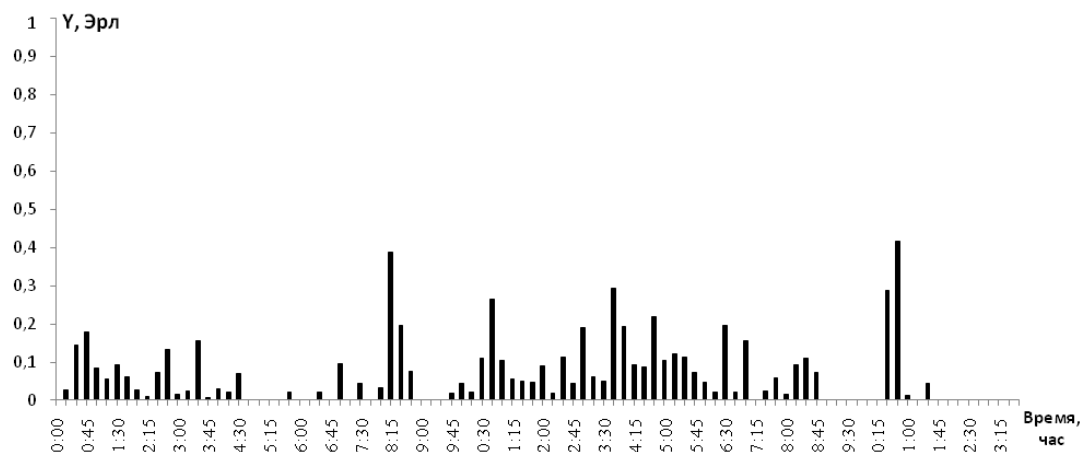


Рис. 1 Распределение нагрузки на сеть передачи данных в течение суток для круга с минимальной загрузкой канала

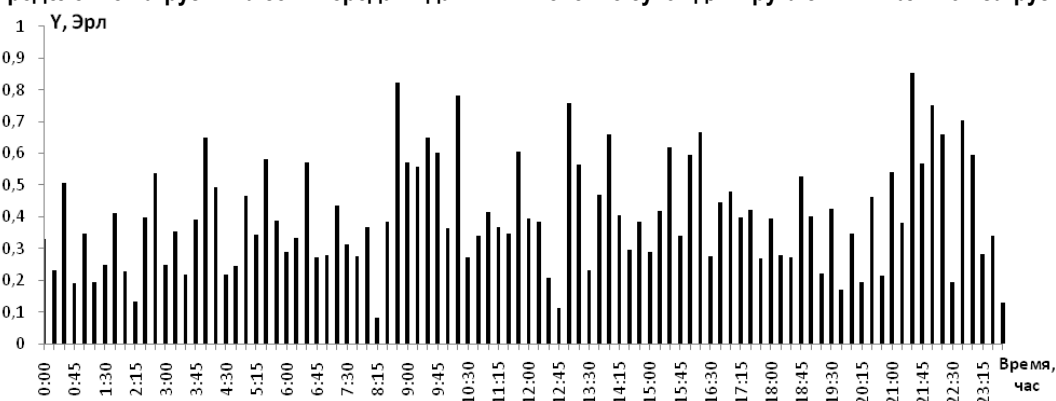


Рис. 2 Распределение нагрузки на сеть передачи данных в течение суток для диспетчерского круга со средней загрузкой канала

### 1 Анализ существующих методик оценки качества передачи речи

В настоящее время известны две методики оценки качества передачи речи в сетях связи, в основе которых лежат, соответственно, субъективный и объективный принципы оценки.

Наиболее широкое распространение на практике получила методика субъективной оценки качества передачи речи, получившая название MOS (Mean Opinion Score) и приведённая в Рекомендации Международного союза электросвязи по телекоммуникации (МСЭ-Т) Р.800 [5]. В основе данной методики лежит оценка пользователем качества восприятия предоставляемой услуги связи. В соответствии с методикой MOS, качество передачи речи от одного пользователя к другому оценивается как среднее арифметическое балльных оценок, выставляемых экспертами (пользователями) после прослушивания тестируемого тракта передачи. Эксперты выставляют оценки по пятибалльной шкале: 5 – отлично, 4 – хорошо, 3 – приемлемо, 2 – плохо, 1 – неприемлемо. Обычно за норму качества принимается средняя оценка не ниже 3.5 баллов.

Метод субъективной оценки может быть использован на любых сетях с коммутацией каналов и пакетов. Основной недостаток такого метода заключается

в том, что он не позволяет выявить причину снижения качества передачи речи. Особенно актуальна такая задача для трактов различной конфигурации, характеризующихся широкими пределами изменения параметров передачи. На практике это означает, что во многих случаях оказывается невозможно оценить качество передачи при проектировании систем связи, особенно в сетях с пакетной коммутацией. К недостатку метода MOS следует также отнести большую трудоёмкость в его реализации, заключающуюся в необходимости опроса статистически значимого количества экспертов.

Указанные недостатки отсутствуют в методах объективной оценки качества передачи речи. Международным союзом электросвязи рекомендован метод, основанный на расчёте R-фактора в так называемой E-модели, являющейся общей моделью оценки качества передачи речи в сетях связи. R-фактор представляет собой интегральный показатель передачи речи, рассчитываемый по заданным параметрам речевого тракта с учётом его конфигурации [2].

Методика расчёта R-фактора основана на использовании E-модели тракта связи [8] и позволяет учесть следующие особенности передачи речи:

- появление потерь речевых пакетов при передаче речи в сети с коммутацией пакетов, в связи с увеличением времени задержки передачи;

- использование в сети кодеков разных видов. Использование низкоскоростных кодеков, таких, например, как G723a, G723m, G729 и др. может приводить к потере пакетов и задержкам передачи [3]. Применение низкоскоростных кодеков позволяет использовать сети пропускной способности сети, однако при этом значительно снижается качество речевого сигнала по сравнению с высокоскоростными кодеками как G.711u, G.711a, G.726-32 и др. [4]. Меньшая пропускная способность означает, что можно организовать большее число телефонных соединений по одному и тому же тракту, но при этом уменьшается разборчивость речи, возрастают задержки и качество речи становится более чувствительным к потере пакетов;
- осуществление передачи речи между двумя абонентами или поддержка групповых вызовов диспетчером всех дежурных по станциям, входящих в диспетчерский круг;
- использование в сети детекторов речевой активности VAD (Voice Activity Detection), позволяющих обнаруживать голосовую активность при возникновении сигнала, что позволяет отделять речь от шума.

Отмеченные особенности оказывают различное влияние на время задержки сигнала, которая создаёт неудобства при ведении диалога между диспетчером и исполнителем за счёт, в частности, перекрытия разговоров и возникновения эха. Влияние задержки становится критичным, когда её величина в одном направлении передачи превышает 250 мс [6].

При расчёте R-фактора имеется возможность локализовать следующие причины и места возникновения задержек при формировании, передаче и обработке речевых пакетов в разговорном тракте: задержка накопления в кодеке (кодере или декодере); в буфере приёма или передачи; в сумматоре; в модуле адаптации; в IP-сети; в пульте оперативной связи; в коммутаторе.

## 2 Оценка качества передачи речи в сетях с пакетной технологией

В сетях с пакетной технологией (рис. 3-6) на качество передачи заметное влияние может оказывать вероятность потерь речевых пакетов Ppl. Обычно величина Ppl изменяется от 1% до 5%. Соответственно учитываются уровни громкости на передачу SLR и на приём RLR.

При расчёте R-фактора предлагается также учитывать возможность использования сервера конференцсвязи (СКС) с адаптивными и неадаптивными сумматорами [9, 10]. В первом случае на каждом входе сумматора установлен обнаружитель речи. В нём процесс суммирования происходит при появлении речевых сигналов на двух и более входах сумматоров. Если сигнал только на одном входе, то сумматор передаёт его на выход без каких-либо преобразований. Неадаптивный сумматор не имеет обнаружителя речи

и суммирование происходит даже если речевой сигнал присутствует только на одном входе. При этом в речевой сигнал вносятся искажения.

В настоящем исследовании был выполнен анализ влияния детектора речевой активности VAD на качество передачи речи в сетях различной конфигурации. В варианте с адаптивными сумматорами такой детектор не оказывает существенного влияния на качество передачи речи. Это объясняется тем, что детектор VAD управляет формированием речевых пакетов с помощью входящего в него обнаружителя речи. Аналогичную функцию в сети выполняет СКС с адаптивными сумматорами. Если используется неадаптивный сумматор, то применение детектора VAD может исключить попадание шума на входы сумматора, что способствует повышению качества передачи речи.

В режиме конференцсвязи качество передачи речи будет таким же, как при индивидуальном разговоре между диспетчером и абонентом, при условии использования адаптивных сумматоров. В случае неадаптивных сумматоров качество связи в таком режиме снижается, что особенно заметно при использовании аналоговых телефонных аппаратов [7].

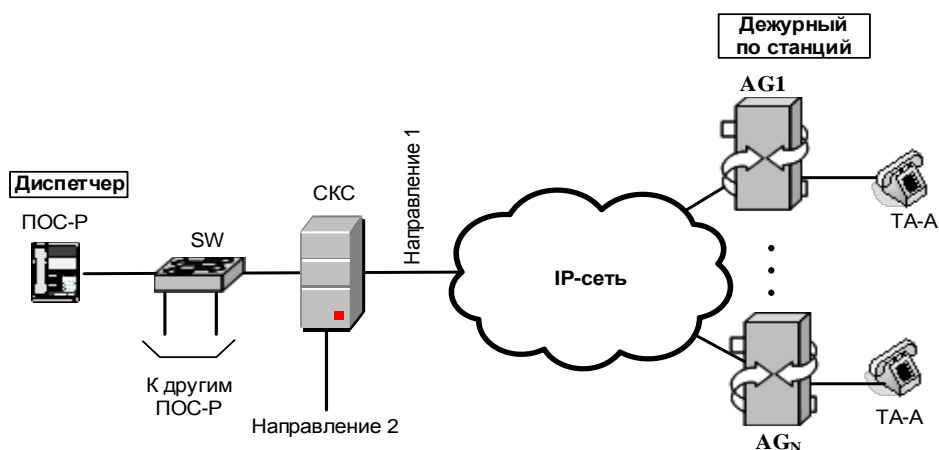
В таблице приведён пример результатов расчётов показателей качества передачи речи от диспетчера к дежурному станции в разговорном тракте – показателей R и MOS, в зависимости от величин задержек в IP-сети ( $t_c$ , мс) и в тракте (T, мс), а также от вероятности потерь речевых пакетов Ppl, при условии использования кодеков G.711 и G.729.

Из произведённого анализа было определено, что на качество передачи речи наиболее существенное влияние оказывают следующие факторы: режим работы речевых сумматоров – адаптивный или неадаптивный; способ ведения переговоров – полудуплексный или дуплексный; величина задержки пакетов в IP-сети; вероятность потери пакетов; время задержки в тракте.

Таблица

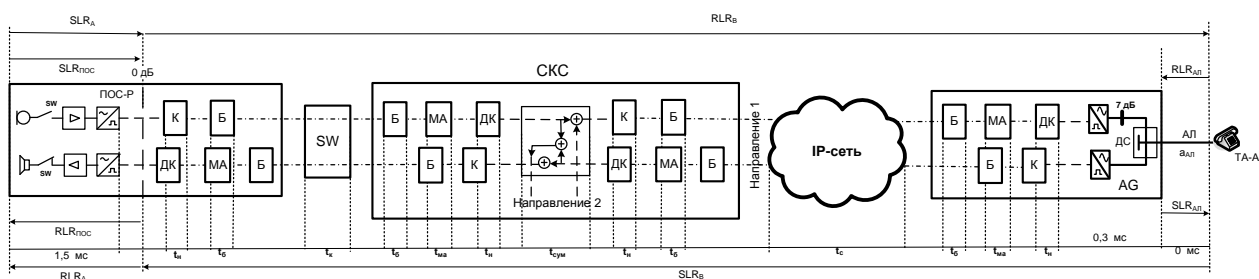
Результаты анализа показателей качества передачи речи в пакетной сети

$t_c$ , мс	Ppl, %	T, мс	Кодек G.711		Кодек G.729	
			R	MOS	R	MOS
15	1	139	92.4	4.40	82.4	4.11
	2		92.6	4.40	82.2	4.10
	5		91.3	4.37	81.6	4.08
45	1	169	91.7	4.38	81.8	4.09
	2		91.5	4.37	81.6	4.08
	5		90.9	4.36	81.0	4.06
85	1	209	88.5	4.31	78.6	3.97
	2		88.3	4.30	78.4	3.96
	5		87.7	4.28	77.8	3.94
165	1	289	78.5	3.97	68.5	3.53
	2		78.3	3.96	68.3	3.52
	5		77.6	3.93	67.7	3.49



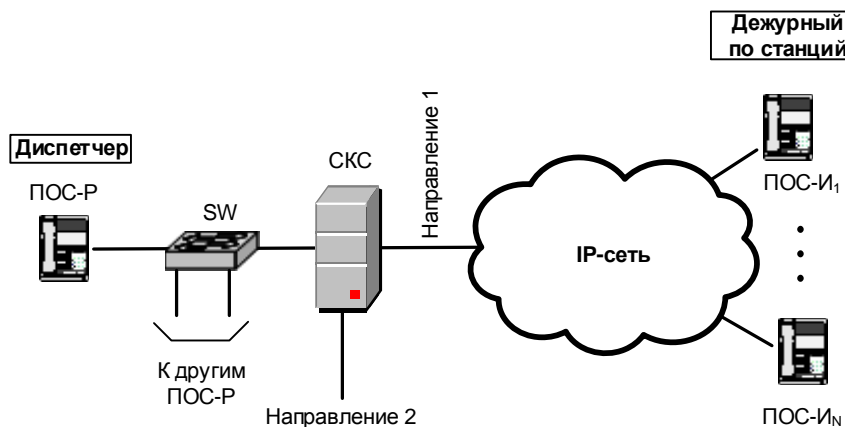
ПОС-Р – цифровой пульт диспетчера; SW – коммутатор диспетчерского центра; СКС – сервер конференцсвязи;  
 АГ- абонентский шлюз; ТА-А – аналоговый телефонный аппарат

Рис. 3. Общий вид структуры сети передачи речи с аналоговыми телефонными аппаратами



К – кодер; ДК – декодер; МА – модуль адаптации; Б –буфер; ДС – дифференциальная система

Рис. 4. Схема разговорного тракта передачи речи с аналоговыми телефонными аппаратами



ПОС-И – пульт оперативной связи исполнителя

Рис. 5. Общий вид структуры сети передачи речи с цифровыми пультами оперативной связи

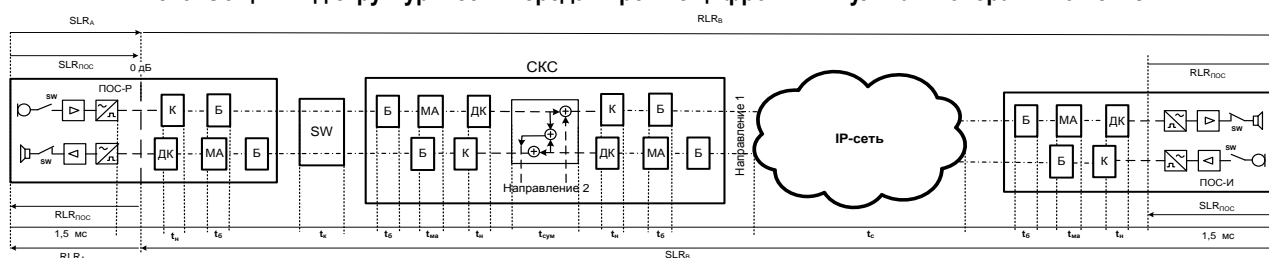


Рис. 6. Схема разговорного тракта передачи речи с цифровыми пультами оперативной связи

### Заключение

Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования качества передачи речи в системах оперативной технологической связи на железнодорожном транспорте в процессе выбора состава и структуры соответствующих трактов. В качестве основного показателя оценки качества передачи речи в системах связи на железнодорожном транспорте рекомендуется использовать показатель «R-фактор», позволяющий получить точную объективную оценку качества, а также выявить причины его снижения.

### Список литературы

1. Воронин В., Вериги А., Васильев О. Состояние и развитие цифровой технологической связи ОАО «РЖД» // CONNECT. Мир связи. 2009. №3. URL: <http://www.connect.ru/article.asp?id=9250>. Дата обращения: 20.11.2014.
2. Лебединский А. К. Оценка качества передачи речи в сетях с коммутацией каналов и пакетов // Автоматика, связь, информатика. 2011. №11. С.6-9.
3. ГОСТ Р51061-97. Системы низкоскоростной передачи речи по цифровым каналам. М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. 20 с.
4. Яновский Г.Г. Оценка качества передачи речи в сетях // Вестник свя-

зи. 2008. № 2 С. 1-7.

5. Recommendation ITU-T P.800. (03, 2003). Mean Opinion Score (MOS) terminology. URL: <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.800.1-200303-S/en>. Дата обращения: 20.11.2014.
6. Recommendation ITU-T G.114 (2003), One-way transmission time. URL: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.114-200305-I/en>. Дата обращения: 20.11.2014.
7. Лебединский А. К., Мирсагдиев О.А. Оценка качества передачи речи в сетях ОТС // Автоматика, связь, информатика. 2012. №10. С.2-5.
8. Recommendation ITU-T G.107 (2009), The E-model: a computational model for use in transmission planning. URL: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.107-201402-P/en>. Дата обращения: 20.11.2014.
9. Рахмангулов А.Н., Мирсагдиев О.А. Обоснование показателя оценки качества оперативно-технологической связи на железнодорожном транспорте // Вестник транспорта Поволжья. 2014. №5(47). С.104-110.
10. Рахмангулов А.Н., Мирсагдиев О.А. Имитационная модель оценки качества передачи речи в сетях оперативно-технологической связи на железнодорожном транспорте // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №2(50). С.12-20.
11. Рахмангулов А.Н., Мирсагдиев О.А. Разработка методики оценки качества коммуникаций в системах управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте: отчет о НИР (заключ.): 14-38-50750 / Российский фонд фундаментальных исследований; рук. Рахмангулов А.Н. Магнитогорск, 2014. 62 с. Исполн.: Мирсагдиев О.А. № ГР 215013040042.

### Сведения об авторах

**Рахмангулов Александр Нельевич** - д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: +7-3519-29-85-16. E-mail: ran@magtu.ru.

**Мирсагдиев Орифжон Алимович** – начальник департамента международных отношений, Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта, ТашиИИТ, Узбекистан. Тел: +998-90-936-68-76. E-mail: oamirsagdiev@yandex.ru

### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

## THE PERFORMANCE EVALUATION OF VOICE QUALITY IN PACKET NETWORK OF RAILWAY TRANSPORT

**Rakhmangulov Aleksandr Nelevich** – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7-3519-29-85-16. E-mail: ran@magtu.ru

**Mirsagdiev Orifjon Alimovich** – Head of international relations department, Tashkent Institute of Railway Engineering, Uzbekistan. Phone: +998-90-936-68-76. E-mail: oamirsagdiev@yandex.ru

**Abstract.** The article presents a comparative evaluation of two methods of assessing the speech transmission quality in rail transport, based on the use of subjective MOS scores and the objective calculation of the indicator «R-factor». These indicators are considered on the example of a packet network communication organized between the dispatcher and the officer on duty at the station. The existence features of all components of indicator «R-factor» in rail transport are considered, and determined the impact of the quality of operational communication in the transportation process.

**Keywords:** package network, the quality of voice transmission, E-model, R-factor.

### References

1. Voronin V., Verigo A., Vasil'ev O. Sostoyaniye i razvitiye cifrovoy tekhnologicheskoy svyazi OAO «RZHD» [The state and development of digital technological connection of JSC "Russian Railways"] // CONNECT. Mir svyazi [The World of Communication]. 2009, no. 3, Available: <http://www.connect.ru/article.asp?id=9250> [2014, November 20].
2. Lebedinskij A. K. Ocenka kachestva peredachi rechi v setyah s kommutatsiej kanalov i paketov [Assessment of voice transmission quality in networks with switching channels and packages] // Avtomatika, svyaz', informatika [Automation, communication, informatics]. 2011, no. 11, pp. 6-9.
3. GOST R51061-97. Sistemy nizkoskorostnoj peredachi rechi po cifrovym kanalaml [Systems of a low-speed speech transmission on digital channels]. M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 1997, 20 p.
4. YAnovskij G.G. Ocenka kachestva peredachi rechi v setyah [Assessment of voice transmission quality in networks] // Vestnik Svyazi [Journal of Communication]. 2008, no. 2, pp. 1-7.
5. Recommendation ITU-T P.800. (03, 2003). Mean Opinion Score (MOS) terminology. Available: <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.800.1-200303-S/en>. [2014, November 20].
6. Recommendation ITU-T G.114 (2003), One-way transmission time. Avail-

able: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.114-200305-I/en> [2014, November 20].

7. Lebedinskij A. K., Mirsagdiev O.A. Ocenka kachestva peredachi rechi v setyah OTS [Assessment of voice transmission quality in networks UTS] // Avtomatika, Svyaz', Informatika [Automation, communication, informatics]. 2012, no. 10, pp. 2-5.
8. Recommendation ITU-T G.107 (2009), The E-model: a computational model for use in transmission planning. Available: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.107-201402-P/en> [2014, November 20].
9. Rakhmangulov A.N., Mirsagdiev O.A. Obosnovaniye pokazatelya ocenki kachestva operativno-tekhnologicheskoy svyazi na zheleznodorozhnom transporte [Rationale of quality assessment indicators of operational and technological communication on railway transport] // Vestnik transporta Povolzh'ya [Bulletin of Transport of Volga Region]. 2014, no. 5(47). pp. 104-110.
10. Rakhmangulov A.N., Mirsagdiev O.A. Imitatsionnaya model' ocenki kachestva peredachi rechi v setyah operativno-tekhnologicheskoy svyazi na zheleznodorozhnom transporte [A simulation model of quality assessment of voice transmission in operational and technological networks] // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 2(50), pp.12-20.
11. Rakhmangulov A.N., Mirsagdiev O.A. Razrabotka metodiki ocenki kachestva kommunikatsii v sistemah upravleniya perevozochnym processom na zheleznodorozhnom transporte [Method development for quality assessment of communications in management systems of transportation process at rail transport: research report (contracted): 14-38-50750 / The Russian Foundation for Basic Research: supervisor Rakhmangulov A.N., executor Mirsagdiev O.A.]. 2014. 62 p., Grant № 215013040042.